



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 28 949 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**E 02 D 3/02**

②1 Aktenzeichen: 100 28 949.5  
②2 Anmeldetag: 16. 6. 2000  
④3 Offenlegungstag: 7. 3. 2002

DE 100 28 949 A 1

⑦1 Anmelder:  
BOMAG GmbH & Co. OHG, 56154 Boppard, DE  
  
⑦4 Vertreter:  
Lemcke, Brommer & Partner, Patentanwälte, 76133  
Karlsruhe

⑦2 Erfinder:  
Laugwitz, Niels, Dipl.-Ing., 56154 Boppard, DE  
  
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:  
DE 37 07 648 C2  
DE 27 10 811 C2  
DE 25 54 013 B2  
DE 33 08 476 A1  
DE 694 23 048 T2

Die optimale Verdichtung im Erdbau. In: bd -  
baumaschinendienst, H.6, Juni 1983, S.420-423;  
Bauplanung, Bautechnik, 36.Jg., H.10, Okt. 1982,  
S.443-448;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Verdichtungsgrades bei der Bodenverdichtung  
⑤1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verdichtungsgrades bei der Bodenverdichtung mittels einer Walze oder einem Plattenrüttler, der aus einem Oberbau und einer vibrierenden Platte besteht. Dabei wird zumindest ein Amplitudenwert der annähernd bei Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung der Platte relativ zum Oberbau und zumindest ein Amplitudenwert zumindest einer bei maximal 60% der Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung der Platte relativ zum Oberbau ermittelt und aus den vorgenannten Amplitudenwerten der Quotient als Maß für den aktuellen Verdichtungsgrad ermittelt.

DE 100 28 949 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verdichtungsgrades bei der Bodenverdichtung mittels einem Plattenrüttler oder einer Walze, bestehend aus einem Oberbau und einem vibrierenden Unterbau, der mit einer bestimmten Anregungsfrequenz angetrieben wird.

[0002] Bei der Bodenverdichtung besteht grundsätzlich der Wunsch, eine Aussage über den jeweils erzielten Verdichtungsgrad zu erhalten, um einerseits die geforderten Verdichtungswerte garantieren zu können, andererseits einen möglichst effizienten Einsatz der Verdichtungsgeräte zu erreichen, insbesondere die Verdichtung abubrechen, wenn weitere Übergänge nicht mehr lohnend sind oder im Gegenteil zu einer Wiederauflöckerung des Bodens führen.

[0003] Es sind daher schon zahlreiche Lösungen bekannt, bei denen während des Verdichtungsvorganges bestimmte Schwingungsparameter gemessen und zur Bestimmung des erzielten Verdichtungsgrades herangezogen werden. Diese Systeme sind praktisch aber nur für Verdichtungswalzen geeignet und nicht für Plattenrüttler. Ursächlich hierfür ist teilweise der hohe apparative Aufwand, der sich bei Plattenrüttlern nicht mehr rechnet, teilweise aber auch die wesentlich höheren Beschleunigungswerte der Vibrationsplatten, die etwa doppelt so hoch liegen wie bei Vibrationswalzen.

[0004] Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein System zur Bestimmung des Verdichtungsgrades anzugeben, das nicht nur für Walzen, sondern auch für Plattenrüttler geeignet ist, den bei letzteren auftretenden, hohen Beschleunigungswerten stand hält und sich insbesondere durch relativ günstige Herstellungskosten auszeichnet.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zumindest ein Amplitudenwert der bei Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung des Unterbaues relativ zum Oberbau ermittelt wird, dass daneben zumindest ein Amplitudenwert zumindest einer bei maximal 60% der Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung des Unterbaues relativ zum Oberbau ermittelt wird und dass schließlich der Quotient aus den vorgenannten Amplitudenwerten als Maß für den aktuellen Verdichtungsgrad des Bodens herangezogen wird.

[0006] Untersuchungen der Anmelderin haben überraschend gezeigt, dass der oben definierte Quotient mit der Anzahl der Übergänge kontinuierlich zunimmt und ein zuverlässiger Indikator für die Bodensteifigkeit ist. Wie üblich ist dieser Quotient betragsmäßig stark von den Eigenschaften des zu verdichtenden Bodens und des eingesetzten Verdichtungsgerätes abhängig, aber seine relative Änderung von Übergang zu Übergang zeigt der Bedienungsperson deutlich an, ob eine Erhöhung der Bodensteifigkeit eintritt bzw. ab wann sich weitere Übergänge nicht mehr lohnen oder abträglich sind.

[0007] Der große Vorteil des erfindungsgemäßen Systems besteht darin, dass keine Absolutwerte gemessen zu werden brauchen, sondern lediglich die Relativbewegungen zwischen Oberbau und Unterbau. Diese Schwingungsamplituden lassen sich vom Oberbau aus berührungslos, insbesondere induktiv erfassen. Dabei braucht kein Sensor an der schwingenden Masse befestigt werden und problematische Kabelverbindungen zur schwingenden Masse entfallen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Trennung der Amplituden in Abhängigkeit von ihrer Frequenz relativ kostengünstig auf elektronischem Wege möglich ist.

[0008] Die erfindungsgemäße Lösung zeichnet sich daher durch vergleichsweise einfachen und kostengünstigen Aufbau sowie durch hohe Zuverlässigkeit aus.

[0009] Für die Amplitudenwerte der bei maximal 60% der Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung empfiehlt es sich, ein breites Frequenzband zugrunde zu legen, das etwa von 1% bis etwa 50% der Anregungsfrequenz reicht. Dabei kann dieses Frequenzband in seiner ganzen Breite ausgeschöpft werden oder es wird nur ein relativ schmaler Frequenzbereich, der sich beispielsweise von 10 Hz bis 20 Hz erstreckt, herausgegriffen oder es werden mehrere schmale Frequenzbereiche aus dem genannten Frequenzband überlagert.

[0010] Hinsichtlich der bei der Anregungsfrequenz auftretenden Amplituden empfiehlt es sich, einen festen Wert für die Anregungsfrequenz vorzugeben, d. h. die von Hersteller des Verdichtungsgerätes angegebene Rüttelfrequenz zugrunde zu legen und für diese Frequenz die Amplitudenmessung durchzuführen. Es liegt aber stattdessen auch im Rahmen der Erfindung, einen variablen Wert für die Anregungsfrequenz vorzugeben, insbesondere dann, wenn die tatsächliche Anregungsfrequenz instabil ist. In diesem Fall empfiehlt die kontinuierliche Messung eines Wertes, der proportional zur Anregungsfrequenz ist und die Verwendung dieses Messwertes für die Signalfilterung, so dass die Amplitude jeweils bei der aktuellen Anregungsfrequenz gemessen wird.

[0011] Grundsätzlich sollten die ermittelten Amplitudenwerte und/oder der daraus berechneten Quotient einer Mittelwertbildung unterzogen werden, da die Signale stark schwanken. Ein Messwert pro Sekunde ist durchaus ausreichend.

[0012] Damit die Bedienungsperson erkennt, ab wann sich weitere Übergänge mit dem Verdichtungsgerät nicht mehr lohnen, wird zweckmäßig ein optisches oder akustisches Signal erzeugt, wenn der genannte Quotient einen bestimmten Grenzwert passiert oder seine Änderungsgeschwindigkeit zu gering wird.

[0013] Zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens empfiehlt es sich, dass der Oberbau einen Sensor zur berührungslosen Erfassung der Relativbewegungen zwischen Oberbau und Unterbau trägt – insbesondere einen Sensor zur induktiven Messwert-Erfassung, der mit einer gegenüberliegenden Messfläche am Unterbau korrespondiert. Dies hat den Vorteil, dass der Sensor und sein elektrischer Anschluss nicht den starken Beschleunigungen und Verzögerungen des vibrierenden Unterbaues ausgesetzt sind. Die Messvorrichtung zeichnet sich daher durch hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer aus und ist insbesondere für Plattenrüttler prädestiniert.

[0014] Zur Trennung der Frequenzanteile wird vorzugsweise ein Hochpassfilter und ein Bandpassfilter verwendet, wobei der Hochpassfilter den Amplitudenwert der annähernd bei Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung, der Bandpassfilter den Amplitudenwert der bei maximal 60% der Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung separiert. Der Bandpassfilter lässt vorzugsweise Amplitudenwerte aus einem Frequenzbereich von etwa 1% bis etwa 50% der Anregungsfrequenz, in der Praxis beispielsweise von 1 Hz bis 30 Hz passieren, wenn die Anregungsfrequenz bei 60 Hz liegt.

[0015] Selbstverständlich kann dieser Bandpassfilter auch durch einen Hochpassfilter mit Grenzfrequenz 1 Hz und einen dazu in Reihe geschalteten Tiefpassfilter mit 30 Hz ersetzt werden.

[0016] Zur Mittelwertbildung kann entweder direkt auf die Amplitudenwerte oder den daraus gebildeten Quotienten zurückgegriffen werden, wobei jeweils ein Tiefpassfilter eingesetzt wird, dessen Grenzfrequenz bei etwa 0,2 Hz bis 1 Hz liegt.

[0017] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung er-

geben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung; dabei zeigt [0018] Fig. 1 eine schematische Seitenansicht eines Plattenrüttlers;

[0019] Fig. 2 eine Ausschnittvergrößerung von Detail A;

[0020] Fig. 3 ein Schaltbild für die Auswertung der Messwerte;

[0021] Fig. 4 den Verlauf des bei der Wegmessung sich ergebenden Signals über der Zeit;

[0022] Fig. 5 den Amplitudenverlauf mit einem Frequenzanteil von 1 Hz bis 29 Hz;

[0023] Fig. 6 den Amplitudenverlauf bei der Anregungsfrequenz von 52 Hz und

[0024] Fig. 7 den Verlauf des Quotienten über der Anzahl der Übergänge.

[0025] Fig. 1 zeigt einen im Prinzip bekannten Plattenrüttler bestehend aus einem Oberbau 1 und einer vibrierenden Platte 2. Im Oberbau 1 sind in üblicher Weise der Antriebsmotor 1a mit seinem Zubehör untergebracht; außerdem trägt er einen Führungsbügel 1b, damit die Bedienungsperson den Plattenrüttler bedienen und in der gewünschten Richtung steuern kann. Am oberen Ende dieses Führungsbügels 1b befindet sich neben den üblichen Bedienelementen zum An- und Abschalten, und gegebenenfalls zur Veränderung der Frequenz, ein Anzeigergerät 1c für den Verdichtungsgrad.

[0026] Die Vibrationsplatte 2 ist federnd mit dem Oberbau 1 verbunden und wird durch Exzenterwellen mit einer bestimmten Anregungsfrequenz in Schwingungen versetzt.

[0027] Die Ausschnittvergrößerung gemäß Fig. 3 verdeutlicht das Messprinzip: Dazu trägt der Oberbau 1, zweckmäßig sein starrer Maschinenrahmen, an der Unterseite einen Sensor 3, der mit einer gegenüberliegenden Messfläche 4 an der Oberseite der Rüttelplatte zusammenwirkt. Dieser Sensor ist im Ausführungsbeispiel als Wegsensor ausgebildet. Es liegt aber gleichermaßen im Rahmen der Erfindung, nicht den Schwingungsweg, sondern stattdessen die Schwingungsgeschwindigkeit, die Schwingungs-Beschleunigung oder einen anderen für die Relativbewegung der Platte gegenüber dem Oberbau charakteristischen Wert heranzuziehen. Vorzugsweise wird in Vertikalrichtung gemessen; die Messrichtung kann aber auch geneigt sein.

[0028] Zweckmäßig erfolgt die Messung induktiv; es sind aber auch optische oder andere Messverfahren geeignet. Grundsätzlich sollte jedoch an der vibrierenden Platte kein elektrischer Anschluss notwendig sein.

[0029] Die Auswertung des Messsignals erfolgt über das Schaltbild gemäß Fig. 3. Demgemäß durchläuft das vom Sensor 3 erfasste Wegsignal zunächst einen Messwandler und einen Verstärker, worauf die Signaltrennung auf unterschiedliche Frequenzbereiche erfolgt. Im Hochpassfilter werden die Schwingungen selektiert, die etwa mit der Anregungsfrequenz des Plattenrüttlers erfolgen. Geht man beispielsweise von einer üblichen Rüttlerfrequenz von 60 Hz aus, so wird die Grenzfrequenz  $f_3$  des Hochpassfilters auf knapp 60 Hz eingestellt. Es wäre stattdessen aber auch möglich, die Anregungsfrequenz zu messen und den Hochpassfilter entsprechend der tatsächlich gemessenen Anregungsfrequenz nachzuführen.

[0030] Parallel zum Hochpassfilter ist ein Bandpassfilter geschaltet, der die Amplituden aus einem relativ breiten Frequenzspektrum von etwa 1% bis etwa 50% der Anregungsfrequenz, hier also von etwa 1 Hz bis etwa 30 Hz erfasst.

[0031] Die Amplituden der so gemäß ihren Frequenzen getrennten Signale werden dann ermittelt, indem z. B. eine Betragsbildung durch Diodenbrückenschaltung, Quadrieren oder Spitzenwertmessung erfolgt. Anschließend werden die vom Bandpassfilter kommenden Signale dividiert durch die

hochpassgefilterten Signale. Dieser noch stark streuende Quotient durchläuft dann einen Tiefpassfilter, der auf eine so niedrige Grenzfrequenz eingestellt ist, dass keine plötzlichen Sprünge des von der Anzeige 1c ablesbaren Wertes auftreten.

[0032] Die Fig. 4 bis 6 zeigen die entsprechenden Signalverläufe, nämlich Fig. 4 den Verlauf des Messsignals vor der Frequenz-Teilung, Fig. 5 das bandpassgefilterte Signal, also die Amplituden, die zu den Schwingungen von 1 Hz bis 29 Hz gehören und Fig. 6 die hochpassgefilterten Amplituden, die zu der Schwingung mit etwa 52 Hz gehören.

[0033] Der Quotient  $Q$  – also bandpassgefilterte Signale geteilt durch hochpassgefilterte Signale – liegt beispielsweise zwischen 0,2 bis 2,0. Sein Verlauf über der Anzahl der Übergänge ist in Fig. 7 dargestellt. Er entspricht qualitativ den an sich bekannten Kurven, wie sie auch bisher schon durch andere Messverfahren ermittelt wurden und zeigt der Bedienungsperson – gegebenenfalls unterstützt durch ein akustisches Signal – ab wann sich weitere Übergänge mit dem Verdichtungsgerät nicht mehr lohnen.

[0034] Zusammenfassend besteht der Vorteil der Erfindung darin, bei geringem und kostengünstigem apparativem Aufwand eine zuverlässige Bestimmung des Verdichtungsgrades für Walzen oder Plattenrüttler anzuzeigen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Verdichtungsgrades bei der Bodenverdichtung mittels einem Plattenrüttler oder einer Walze, bestehend aus einem Oberbau (1) und einem vibrierenden Unterbau (2), der mit einer bestimmten Anregungsfrequenz angetrieben wird, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Amplitudenwert der annähernd bei Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung des Unterbaues (2) relativ zum Oberbau (1) ermittelt wird, dass zumindest ein Amplitudenwert zumindest einer bei maximal 60% der Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung des Unterbaues (2) relativ zum Oberbau (1) ermittelt wird und dass der Quotient aus den vorgenannten Amplitudenwerten als Maß für den aktuellen Verdichtungsgrad des Bodens dient.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudenwerte der bei maximal 60% der Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung aus einem breiten Frequenzband erfasst werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudenwerte aus einem Frequenzband von etwa 1% bis etwa 50% der Anregungsfrequenz erfasst werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Messung der Amplituden bei Anregungsfrequenz ein fester Wert für die Anregungsfrequenz vorgegeben wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Messung der Amplituden bei Anregungsfrequenz ein variabler Wert für die Anregungsfrequenz entsprechend ihrem tatsächlichen aktuellen Verlauf eingegeben wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ermittelten Amplitudenwerte und/oder der Quotient einer Mittelwertbildung unterzogen werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittelwertbildung unter Verwendung von Hüllkurven erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudenwerte der verschiedenen Frequenzbereiche durch Fouriertransformation, insbeson-

dere durch FFT (Fast Fourier Transformation) ermittelt werden und diese zur Berechnung des Verdichtungsgrades benutzt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Signal für die Bedienungsperson erzeugt wird, wenn der Quotient einen bestimmten Grenzwert passiert. 5

10. Vorrichtung zur Bestimmung des Verdichtungsgrades bei der Bodenverdichtung mittels einem Plattenrüttler oder einer Walze, bestehend aus einem Oberbau 10 (1) und einem vibrierenden Unterbau (2), der mit einer bestimmten Anregungsfrequenz angetrieben wird, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Oberbau (1) einen Sensor (3) zur berührungslosen Erfassung der Relativbewegungen 15 zwischen Oberbau (1) und Unterbau (2) trägt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (3) – insbesondere zur induktiven Messwert-Erfassung – mit einer gegenüberliegenden Messfläche (4) am Unterbau (2) korrespondiert. 20

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (3) ein Weg-Aufnehmer ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass durch einen Hochpassfilter Amplitudenwerte der annähernd bei Anregungsfrequenz erfolgenden Schwingung des Unterbaues (2) relativ zum Oberbau (1) ermittelt werden. 25

14. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass durch einen Bandpassfilter Amplitudenwerten aus einem Frequenzbereich von etwa 1% bis etwa 50% der Anregungsfrequenz ermittelt werden. 30

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

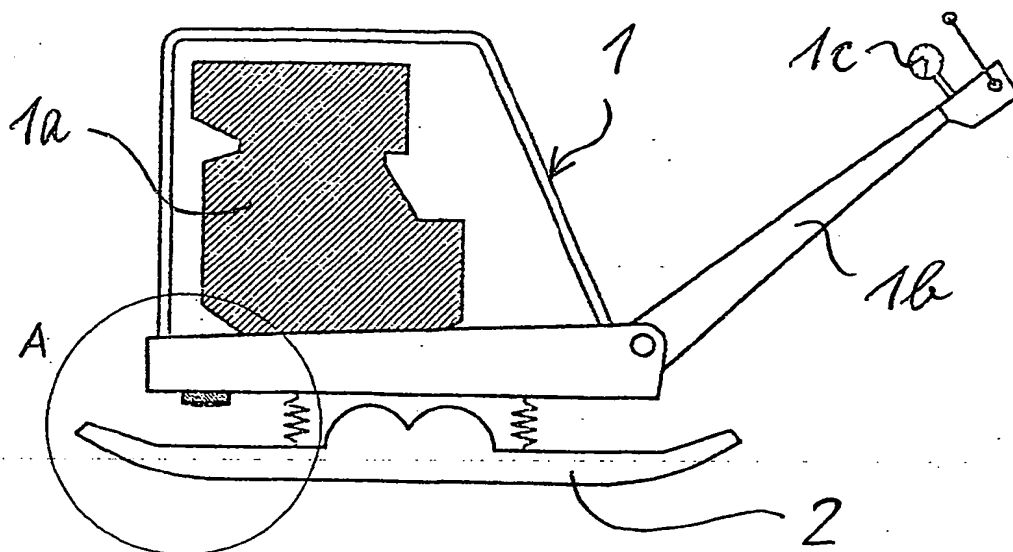


Fig. 2

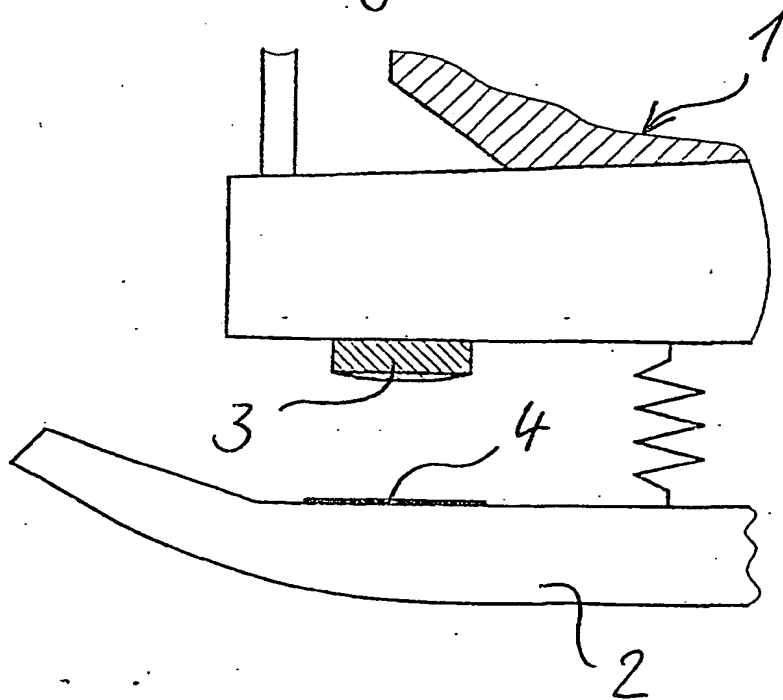
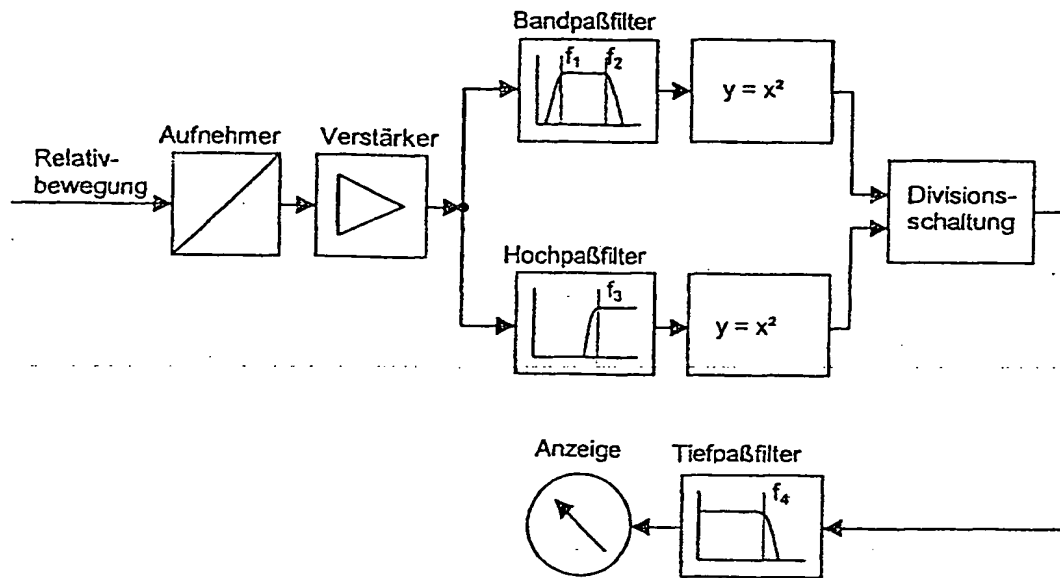
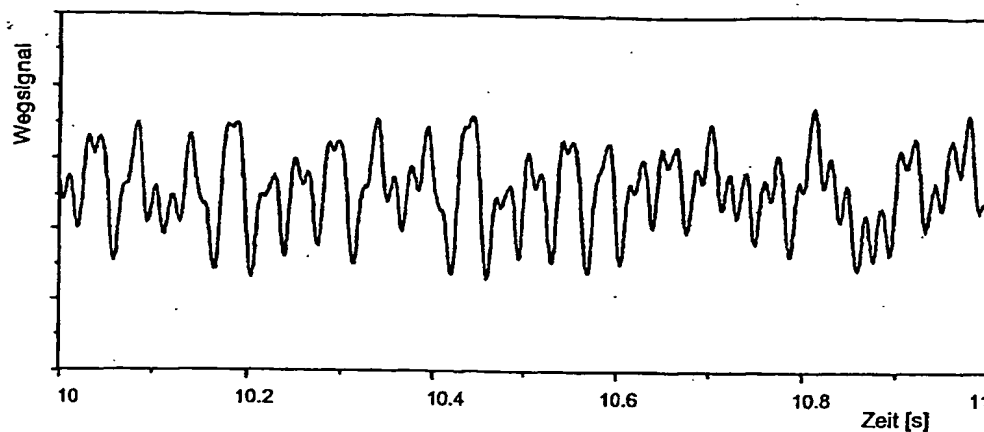


Fig. 3



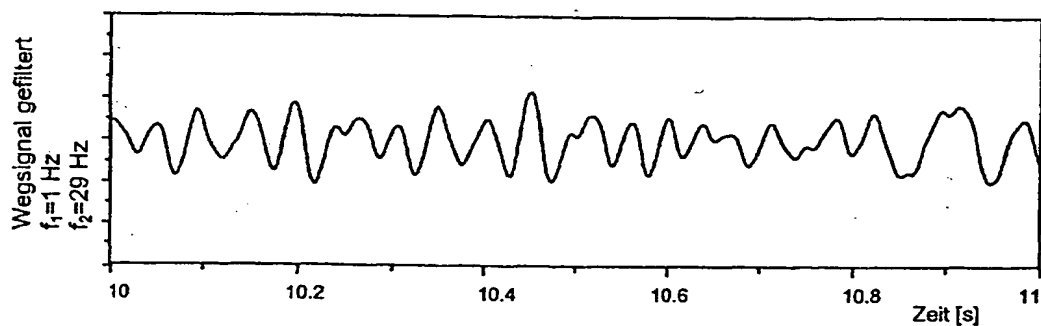
Meßsignal

Fig. 4



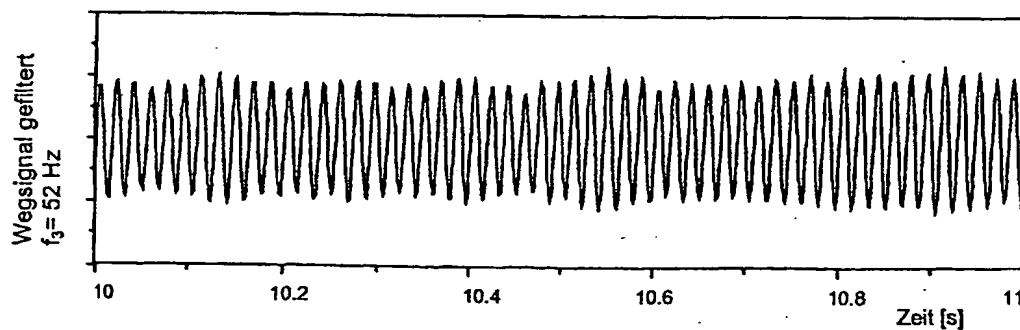
bandpaßgefiltertes Signal

Fig. 5



hochpaßgefiltertes Signal

Fig. 6



52 Hz

Fig. 7

